

## 励起ナノプロセス研究の拠点形成

### Cooperative Research on Excitation-controlled Nano-processes in Wakayama University

システム工学部：○篠塚雄三，伊東千尋，奥野恒久，秋元郁子，小田将人

教育学部：木曾田賢治，顧 萍

東京大学工学系研究科：前田康二

筑波大学数理物質科学研究科：村上浩一

兵庫県立大学高度産業科学技術研究所：松井真二

Y. SHINOZUKA, C. ITOH, T. OKUNO, I. AKIMOTO, M. ODA  
K. KISODA, P. GU  
K. MAEDA, K. MURAKAMI and S. MATSUI

○印研究代表者連絡先：yuzo@sys.wakayama-u.ac.jp, 電話073-457-8236

本研究に関連するホームページURL：http://www.sys.wakayama-u.ac.jp/mc/yuzo/onlyone/index.html

**要約：**和歌山大学の物理系，化学系教員が中心となって，レーザー光などの量子ビーム照射を利用した物質構造改変に関する基礎研究を遂行し，物質機能の開拓を目指した新規ナノテクノロジーの開発を行う．また研究会・セミナー・国際シンポジウムの開催を通じて，本学に全国的な共同研究拠点を形成する．

#### 1. はじめに

マクロな大きさをもつ物質では，アボガドロ数  $10^{23}$  個程度の多数の原子が集合し，その全エネルギーが最も低くなるような原子配列が選ばれ，物質ごとに安定な結晶構造が定まっている．例えばシリコンは立体的な4配位構造を持つ半導体となり，炭素では，通常は平面状の3配位構造をもつ半金属のグラファイトとなる．このような規則正しく整列した結晶構造を舞台に電子や原子の運動が行われ，電子状態の性質に応じて，固体物質は金属・半導体・絶縁体に整然と分類されている．ところが最近，物質にレーザー光などを照射すると構成原子の位置が大きくずれたり，原子が表面から飛び出したりするなど，原子の凝集形態が大きく変化するような現象が物質を問わず見いだされるようになってきた (Fig. 1-1.1)．これらと同類の現象としては，フィルム写真での写真感光現象 (銀ハライド微粒子に光が当た

ると凝集) が古くから知られている．また分子構造が可逆に変わるフォトクロミズムの現象や，さらには太陽光による日焼けとも類似の起源をもつ現象である．

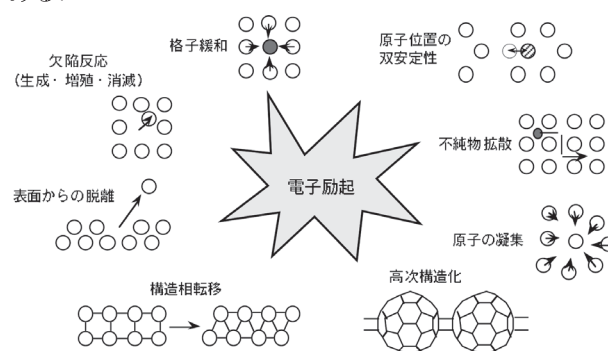


Fig. 1-1.1 固体物質における様々な電子励起構造変化

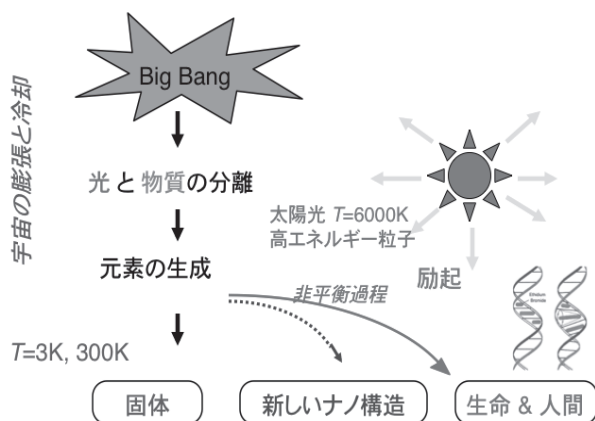


Fig. 1-1.2 宇宙の歴史と物質形態の進化

電子励起構造変化という一見不思議な現象は、固体物質といえども電子励起に対しては必ずしも「固体」ではないことの現れである。一般に、固体物質では原子間の結合は価電子が担っている。結合の「糊」である価電子を光照射などで励起すると、電子励起状態に対応した新しい安定位置へと原子移動が生じる。個々の構造変化のミクロな機構は様々であると考えられるが、電子励起構造変化を研究することによって、基礎科学面では物質の凝集機構をより深く理解し、我々の物質観を広げることができる。一方、応用面としては、レーザー光照射などを時間・空間的に制御することで、任意に原子配列を操作することの可能性、すなわちナノテクノロジーにおける画期的な新技術が開拓されることになる。

最近、炭素のグラファイト構造にパルスレーザー光を強く照射するとダイヤモンドに類似の立体構造へと変化することが、阪大グループによって見いだされた。このような電子励起構造変化（双安定性、相転移、...）を積極的に利用することで、例えば次のようなことが可能となるであろう。

- ・ 新しい原理に基づいた機能物質・素子の開発。
- ・ 今後、光と電子の集積化が進むにつれ重要な問題となる、欠陥生成による素子の劣化を防ぐ対策。
- ・ 励起プロセス非平衡結晶作製方法の指針と、基礎に裏付けられた物質設計の道。

大きな時間スケールでこの自然界を眺めると、宇宙の歴史、特に地球上での生命の発生と進化のプロセスは、様々な物質の結合形態が太陽光という励起下（非平衡状態下）のもとで複雑に繰り返し変化してきた結果の賜物とも言えよう（Fig.1-1.2）。

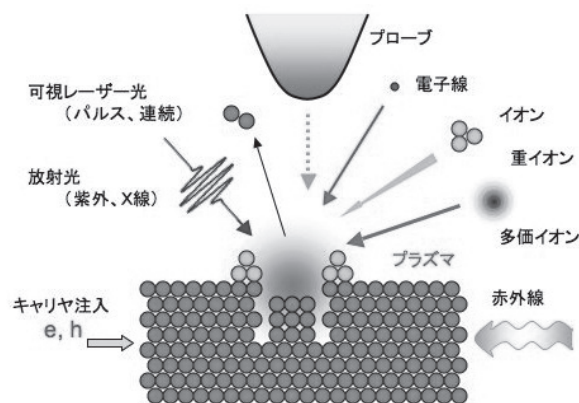


Fig. 1-1.3 励起ナノプロセスの共同研究

さて和歌山大学では、電子励起構造変化に関連する基礎研究が、昔からかなり盛んである。また、本代表者らは応用物理学会内に「励起ナノプロセス」研究会を数年前に立ち上げ、ナノテクノロジーの分野において量子ビーム等を用いて新規ナノ構造体を効率的に作製する新技術の基礎研究・開発の共同研究を、世界に先駆けて推進してきた（Fig.1-1.3）。そこで、次の2つ柱を目的として和歌山大学オンリー・ワンプロジェクトを立ち上げることにした。

- 1) 本学の物理系、化学系教員を中心として、量子ビームを利用した励起ナノプロセッシングに関する基礎研究・連携研究を遂行し、新規ナノテクノロジーの基盤確立と物質機能の開拓を目指す。
- 2) 応用物理学会「励起ナノプロセス」研究会と協力し各種研究会・セミナー・国際シンポジウムを本学にて開催し、本学を拠点に全国的な共同研究を推進する。

本プロジェクトによって、半導体物理、表面科学、デバイス工学、非平衡物理などにまたがる融合的な新しい研究分野が開拓され、本学の物質機能創成研究が日本にとどまらず、世界的にみてもオンリーワンとなることが期待できる。また研究会、国際シンポジウムを開催することで、ナノテクノロジーにおける本学の存在を国内的にも国際的にもアピールすることができる。

本報告書では、以下、2章では「和歌山大学における励起ナノプロセス研究」の個別的成果について、3章では「和歌山大学での拠点形成」に関わる成果について詳細に報告する。

## 2. 和歌山大学における励起ナノプロセス研究

本章では、研究項目別に成果を記載する。それぞれの主な担当者は各節の末尾に名前を掲げている。

### 2.1 カーボンナノチューブ (CNT) 等のナノ物質の励起による構造制御

#### 2-1-1 化学気相成長法によるグラフェン作製と無金属触媒カーボンナノチューブの成長

本節では、異なる種類の実験を報告するのでそれぞれ番号で区別する。

##### 目的

炭素源にエタノールを用いた化学気相成長法 (以下 CVD) を利用して (1) グラフェンと (2) カーボンナノチューブ (以下 CNT) ,特に単層CNTと二層CNTの作製を試みる。

- (1) これまでの報告では、炭素源をメタンなど気相のガスが用いられている。我々は、取り扱いの容易な液相の炭素源を用いて数層グラフェンを作製することを目的とする。
- (2) CNTの成長には遷移金属触媒が用いられる。しかし不純物として遷移金属触媒が残留する。これはSWCNT本来の物性評価を困難にする。ドラッグデリバリーへの応用を考慮すると遷移金属触媒を利用しないCNTの成長方法の確立は重要である。本研究では金属触媒を使わないSWCNTの成長条件を模索する。

##### 実験

###### A.成長

- (1) グラフェンは、シリコン基板上にニッケル膜を蒸着してその上に成長される。成長温度は、900-1100℃まで変えた。また、成長中に希ガス (アルゴン) や水素ガスを流すなどの雰囲気ガスの調節を併せて行った。
- (2) CNT成長用の基板として酸化マグネシウム MgO(100)面基板を使った。MgO基板については、(100)面他(111)面についても成長を試みた。成長前に基板を(i)エタノール及びアセトンで洗浄、(ii)酸 (塩酸、酢酸) で洗浄、(iii)塩基 (重曹水、水酸化ナトリウム) で洗浄を行った。(ii)または(iii)単独ではCNT成長を確認できなかったため、(ii)のあと(iii)を行った。成長温度は、850-900℃まで変化させた。

昇温過程に於いて、300℃で10分間維持することが肝要であった。

###### B.評価方法

作製されたグラフェン並びにCNTの評価は、ラマン散乱分光法によって行った。主として、波長532nmのレーザーを励起源として使用し、散乱光は分光器に導入され電荷結合素子 (CCD) 検出器で検出した。全ての実験は室温で行った。一部走査型電子顕微鏡と透過型電子顕微鏡を使用した。

##### 結果

- (1) 水素ガス雰囲気中反応温度900℃で成長させ、その後室温まで急冷した場合ニッケル蒸着膜上にグラフェンが成長した。グラフェン層数の確認にはラマン散乱分光によって行った。その結果、測定したラマンスペクトルの解析から数層から数十層のグラフェンの成長が確認できた。グラフェンで最も重要なのは一層から二層グラフェンである。多くとも二層または三層程度のグラフェンは確認された。
- (2) MgO(100)基板において、前処理として単に有機溶媒だけを用いた洗浄した場合のみ金属触媒なしで (成長温度850℃以上) CNT並びにグラファイトの成長が確認できた。特に、単層CNTは確実に成長した。ただしMgO(111)面では成長は確認されなかった。また、酸または塩基による処理はその順序と組み合わせを行ってもCNTの成長は確認できなかった。

##### 今後の展望

エタノールを炭素源に用いた化学気相成長法 (CVD) によるグラフェン膜の作製を行い、ラマン散乱分光法による評価で一層または二層グラフェンの作製を確認した。グラフェンの作製については、今後金属蒸着膜の膜厚、モフォロジーに関しても検討を行い最適な金属種並びに膜厚を明らかにしたい。同時に成長条件の確立を試みる。

酸化マグネシウム (MgO) (100)基板上に CNT の CVD 成長を試み、従来の定説と異なり直径数ナノメートル程度の微粒子や金属触媒を用いない CNT の成長が可能であることを明らかにした。今後は、MgO の表面状態と CNT 成長条件の相関を明らかにしたい。(文責: 木曾田)

## 2-1-2 深紫外ラマン散乱分光法によるエピタキシャルグラフェンの評価

### 目的

エピタキシャルグラフェン (EG) とは、炭化シリコン (SiC) 基板を加熱してシリコン原子を昇華させることにより得られるグラフェンのことである。SiC 基板に形成されているため、励起源に可視光を用いる通常のラマン散乱分光法では、EG 本来の信号よりも SiC 基板の信号強度が強い。深紫外光を励起源とする場合 SiC への侵入長が数 100 nm 程度に抑えられるので、相対的な EG の信号強度が増すと考えられる。ここでは、深紫外ラマン散乱分光法が EG 評価に利用可能であることを示す。

### 実験

EG の成長に微傾斜 6H-SiC 基板を利用し、超高真空中で 1400-1600°C まで加熱した。層数の制御には反応時間により行った。層数の確認は低速電子顕微鏡を用いた。平均層数は、1.8, 2.1, 及び 3.0 層である。(九州大学大学院田中悟教授提供)

深紫外ラマン散乱分光法は、室温で行った。励起光源は、266 nm のレーザーを用い、散乱光は二重分光器により分散され、紫外増感された電荷結合素子を用いて検出される。266 nm の 6H-SiC への侵入長は、約 150 nm である。

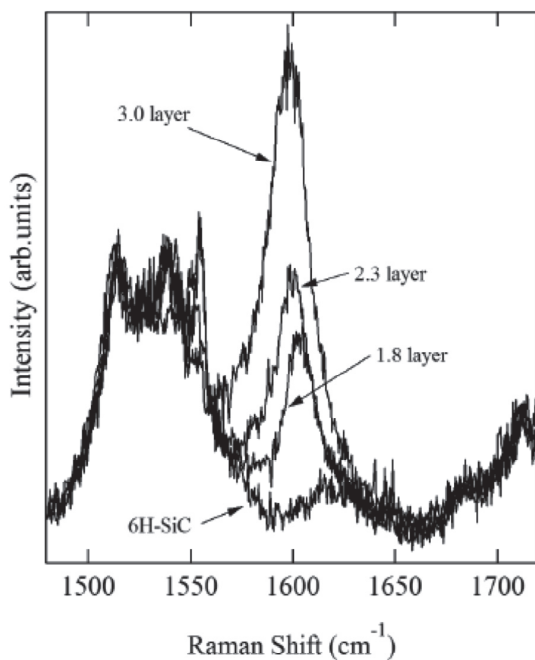


Fig. 2-1-1 ラマンスペクトル (Gバンド領域)

### 結果

図にEG層数を変えたラマンスペクトル (Gバンド領域) を示す。図のように層数の増加に伴い、Gバンド強度が増加する。層数の増加に伴い半値幅が増し、振動数は低振動数側にシフトする。後者は、基板 (6H-SiC) から受ける圧縮応力が緩和されていくためである。前者は、各層の振動数が応力の緩和のために異なり、層数の多い信号は、各層の信号の重ね合わせであることを考慮すると説明できる。

### 今後の展望

微傾斜炭化シリコン (6H-SiC) 基板に形成されたエピタキシャルグラフェン (EG) について深紫外レーザー光を光源としたラマン散乱評価を行い、深紫外ラマン分光法は EG 評価の手段として有用であることを示した。今後は、ラマン散乱分光法を用いた層数分布測定を行いたい。(文責: 木曾田)

### 国際会議報告

S. Kamoi, N. Hasuike, K. Kisoda, H. Harima, K. Morita, S. Tanaka, and A. Hashimoto, "Deep UV Raman spectroscopy of epitaxial graphenes on vicinal 6H-SiC substrates", *International Conference on Silicon Carbide and Related Materials*, Nürnberg, Germany (2009)

### 国内学会報告

木曾田賢治, 「エピタキシャルグラフェンのラマン分光」, 第2回九大グラフェン研究会 (主催: 応用力学研究所) 「エピタキシャルグラフェンの形成と物性」平成22年1月29日 於 九州大学伊都キャンパス・ウエスト2号館921室

鴨井督, 木曾田賢治, 蓮池紀幸, 播磨弘, 森田康平, 田中悟, 橋本明弘, "深紫外ラマン測定による微傾斜 6H-SiC 上の数層グラフェンの評価", SiC 及び関連ワイドギャップ半導体研究会, 平成 21 年 12 月 17 日, 神戸

## 2-1-3 単層カーボンナノチューブにおける軟 X 線励起構造変換

### 【狙い】

一層のグラフェンが巻かれた単層ナノチューブ (Single Wall Nano Tube: SWNT) はその巻き方によって半導体にも金属的にもなる。このような構造と電子的性質の強い相間故に、SWNT の構造変化は電気的特性の変化を引き起こす。このような考え方に基づいて、局所的に構造を変化した SWNT の分子素



子としての機能の理論的研究も進められている。この性質を利用して、SWNT をナノデバイスに利用するには、デバイスプロセスの段階で SWNT 構造を改変・制御することが必要となる。ところが、SWNT はほとんどの有機溶媒に不溶であり、かつ化学的に安定である。さらに、可視光、紫外光の照射に対しても安定である。この安定性が逆に足枷となり、一旦生成された SWNT を変成あるいは構造改変することは非常に困難である。

伊東らは、SWNT に軟 X 線を照射し、共鳴ラマンスペクトルの変化を詳細に調べた。その結果、X 線の照射により欠陥に起因するピーク（D バンド）が出現し、それは照射線量とともに一旦は増えるが、その後減少し、同時に SWNT の管構造を反映するラジアルブリージングモードが変化することを見いだした。この結果は、軟 X 線照射によって欠陥生成およびこれを契機とした SWNT の構造改変が生じることを示唆している。一方、欠陥を含む SWNT についての分子動力学を用いた最近の理論的研究により、欠陥濃度が高い場合には SWNT の構造が流動化し、大きな構造変化が生じることが示されている。したがって、励起によって欠陥を空間的に制御しながら生成すれば、SWNT の構造を効率よく改変制御する技術が創出できると期待される。このような構造変化（原子配置の並べ替え）を誘起させるのには、一般に高密度励起あるいは協調励起が有効である。特に X 線照射は光量子エネルギーを変えることで、選択的に構成原子の内殻励起を誘起できる、制御性に優れた有力な励起法である。この方法による SWNT の構造改変が確立されれば、SWNT の構造を局所的に改変する制御技術の基礎が確立される。

本研究では、特に、照射する X 線の光量子エネルギーの違いによる SWNT の構造変化の違いに焦点をおき研究を行った。

#### 【実験結果および考察】

フッ化カルシウム基板上に形成した SWNT 薄膜に、反射型 X 線源によって得られる 1.25 keV の X 線を真空中で照射した。一定時間の照射の後、サンプルを取り出しラマン散乱スペクトルを顕微ラマン散乱測定装置（日本分光、NRS-3100）により測定した。得られたラマン散乱スペクトルの変化を Fig. 2-1-3.1 に示す。SWNT の特徴である  $1592\text{cm}^{-1}$  と  $1568\text{cm}^{-1}$  の  $G^+$  バンド、 $G^-$  バンド形状に変化は見られないが、 $1342\text{cm}^{-1}$  に新しいピークが成長することがわかる。

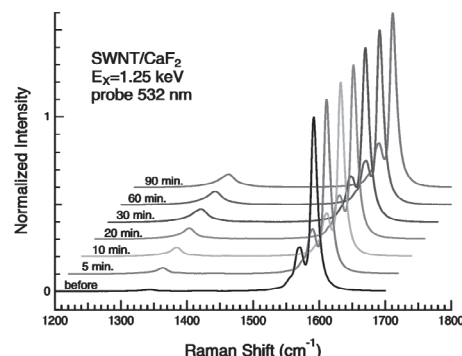


Fig. 2-1-3.1 X 線 ( $h\nu=1.25\text{ keV}$ ) 照射によるラマン散乱スペクトルの変化

このピークは、D バンドであり、欠陥が生成されたことを示す。Fig. 2-1-3.2 に示す様に  $G^+$  バンドで規格化した D バンドの強度は、X 線照射時間に対して飽和挙動を示す。別途実施した赤外吸収、および可視紫外吸収測定の結果、アモルファスカーボンに起因する裾状吸収の強度が X 線照射時間とともに増加することから、SWNT が壊れ、アモルファスカーボンに変換されると考えられる。さらに、X 線照射によって生じる赤外吸収スペクトル変化の詳細な測定により、直径の小さい SWNT ほど X 線に対する感受性が強いことが明らかとなった。

1.25keV の X 線は K 殻電子を真空準位以上の状態に非共鳴励起するため、以前に行われた 277eV にピークを持つ X 線照射の場合と励起の質が異なる。非共鳴励起の場合は、その高い励起エネルギー故に、X 線のみならず発生する二次電子も欠陥生成に寄与し、結果として比較的広範囲で構造改変を起こすと考えられる。このため、SWNT はその構造を保てずアモルファスカーボンに変換されると考えられる。

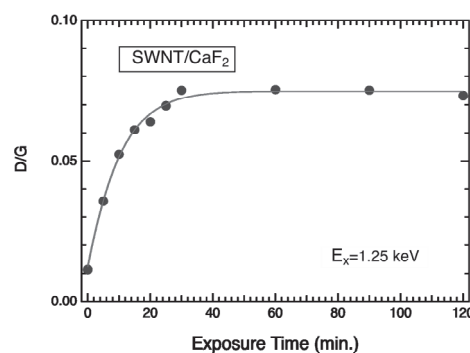


Fig. 2-1-3.2 X 線照射時間に対する D バンド強度の変化

## 【今後の展望】

本研究により、X線の光量子エネルギーを選択することにより、SWNTの構造変化を質的に変えることができることが明らかとなった。SWNTの直径によるX線感受性の違いを利用することにより、SWNTの直径分布を変更する技術として確立できる可能性がある。今後、X線照射後の熱処理を組み合わせることで本技術によるSWNTの構造制御の可能性を実証する。（文責：伊東）

## 【学会発表】

1. “軟 X 線照射による単層カーボンナノチューブの構造変化”，岩本和也，溝口大輔，魚留勝也，伊東千尋，木曾田賢治，第 55 回応用物理学会関係連合講演会，2008 年 3 月（千葉）。
2. “単層カーボンナノチューブの軟 X 線照射効果”，溝口大輔，岩本和也，伊東千尋，第 4 回励起ナノプロセス研究会，2008 年 11 月（和歌山）。
3. “単層カーボンナノチューブの化学処理による軟 X 線照射効果の変化”，溝口大輔，伊東千尋，第 4 回励起ナノプロセス研究会，2008 年 11 月（和歌山）。
4. “軟 X 線照射による単層カーボンナノチューブの構造変化”，岩本和也，魚留勝也，伊東千尋，木曾田賢治，第 19 回光物性研究会，2008 年 12 月（大阪）。
5. “軟 X 線照射による単層カーボンナノチューブの光吸収スペクトル変化”，溝口大輔，岩本和也，伊東千尋，日本物理学会 2009 年秋季大会，2009 年 9 月（岡山）。
6. “単層カーボンナノチューブの軟 X 線誘起解裂”，溝口大輔，方森啓文，伊東千尋，日本物理学会第 65 会年次大会，2010 年 3 月（岡山）。

## 2-2 ナノレベルの構造変化によりマクロな構造を制御する光誘起相転移

### 2-2-1 $\pi$ 電子系有機半導体における光誘起相転移

#### 【狙い】

いくつかの  $\pi$  電子系有機半導体で見出されている光誘起相転移は、電子系の励起により劇的な電子的・構造的変化が巨視的に誘起される現象である。この現象は、ナノ物質の構造を質的に変換する技術として有用であるだけでなく、基底状態では実現し

得ない新たな構造相の創製という物質科学における展開の点で、また高速かつ大容量な情報処理に求められる超高速な光信号変換技術の展開上でも極めて重要である。

$\pi$  電子系有機半導体には、その電子構造上、分子軌道的な電子構造をとる局在  $\pi$  電子系を有するものと、 $\pi$  電子系が共役したバンド型  $\pi$  電子系を有するものがある。本研究では、それぞれの代表として、交互積層電荷移動錯体結晶であるテトラシアフルバレン-プロマニル（TTF-BA）結晶と共役高分子であるポリジアセチレンを対象として研究を行った。

#### 【実験結果および考察】

##### (1) TTF-BA 結晶における光誘起二量体解離の温度依存性

$T_c=55\text{K}$  以下で二量体化を伴って非磁性相に相転移する電荷移動錯体テトラシアフルバレン-プロマニル(TTF-BA)結晶において、パルスレーザー光 ( $\lambda=532\text{nm}$ , パルス幅 20ns) を照射すると、二量体化によって現れる赤外反射ピークの強度が減少する。これは、光照射により二量体が解離することに起因すると考えられている。本研究では、レーザー励起によって誘起される反射ピークの強度変化を試料温度を変えて測定した。Fig. 2-2-1.1 の点線で示された位置にあるピーク（二量体化によって現れるピーク）

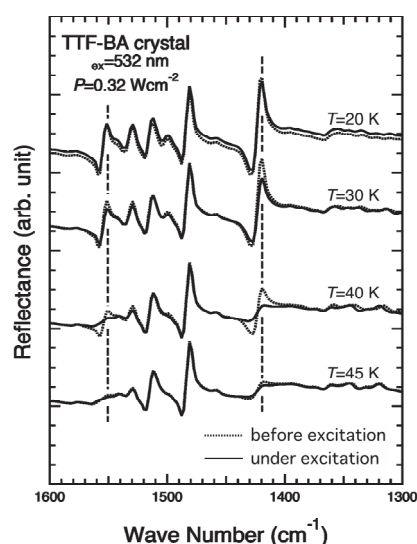


Fig. 2-2-1.1 レーザ照射による赤外反射スペクトルの変化の温度変化. 実線：レーザーパルス照射中，破線：照射前

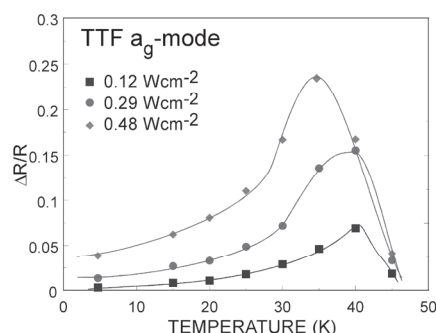


Fig. 2-2-1.2 レーザ照射によって生じる  $1420\text{ cm}^{-1}$  反射帯 (TTF ag モード) の変化率の温度変化

がレーザ照射によりその強度を変化させることがわかる。Fig.2-2-1.2 に  $1420\text{ cm}^{-1}$  のピークについて、レーザ照射によって生じる変化率を温度に対して示す。変化率は、照射強度により異なるが、30K から 40K にかけてピークをとることがわかる。レーザ照射による反射率の変化が温度により大きく異なることは、非磁性相における二量体の熱安定性の違いが、二量体解離の効率を変化させることを示唆する。

## (2) ポリジアセチレンの光誘起色相転移の制御

主鎖に沿って広がる  $\pi$  電子系を有するポリジアセチレン (PDA) は、加熱、加圧あるいは光照射により、光沢の色調変化を伴う構造相転移 (色相転移) を示す。この構造相転移は  $\pi$  電子系の秩序変化に起因するが、主鎖のみではなく側鎖を含めたポリマー全体の構造転移である。このため、側鎖の置換基を変化させることにより、相転移特性を制御することが可能と考えられる。本研究では、色相転移を示さ

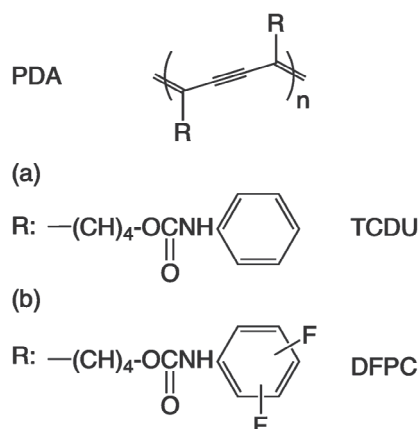


Fig. 2-2-1.3 本研究で合成した PDA の側鎖置換基

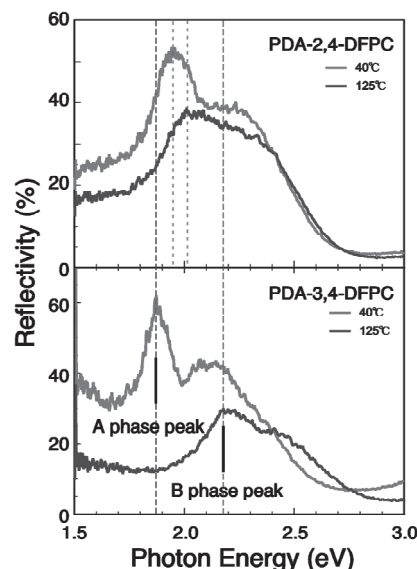


Fig. 2-2-1.4 PDA-DFPC の可視反射スペクトル変化 : PDA-2,4-DFPC (上), PDA-3,4-DFPC (下)

ない既知 PDA の側鎖構造を変化させたポリジアセチレン-ジフルオロフェニルカーバメート (PDA-DFPC) を合成し、その相転移特性、特にその光誘起相転移特性を改変することを目的とした。

5,7-ドデカジン 1,12-ジオールとジフルオロフェニルイソシアネートを反応させて得たジアセチレンモノマーを単結晶化し、これに X 線を照射することで目的とする PDA-DFPC を得た。得られた PDA のうち、側鎖末端のフェニル環の 3 位と 4 位にフッ素を持つ PDA-3,4-DFPC は、温度変化により、金色の金属光沢を有する A 相から緑色の光沢を持つ B 相へ変化する色相転移を示した。これにより側鎖のコンフォメーション変化を側鎖末端構造のわずかな変化により制御できることがわかった。さらに、2 位と 4 位をフッ素化した PDA-2,4-DFPC は、重合後、A 相として得られるが、加熱しても、A 相に留まる。ところが、Fig. 2-2-1.5 に示すように、532nm の CW レーザ光を照射すると、不可逆的に B 相へ転移することを見出した。この物質は、熱的な相転移を示さず光照射によってのみ相転移を示す初めての PDA である。

## 【今後の展望】

本研究の実施により、以下の結論を得た。

(1) TTF-BA 結晶の準安定な光誘起相の形成に二量体

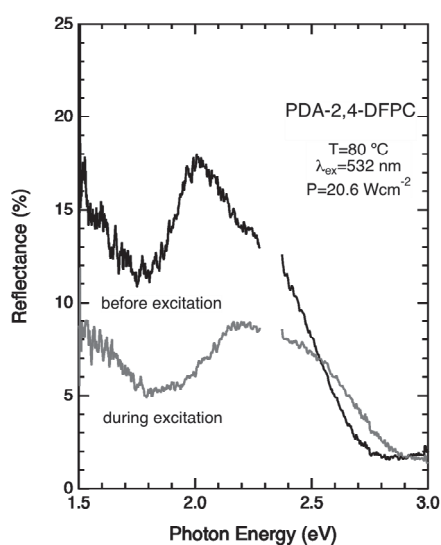


Fig. 2-2-1.5 PDA-2,4-DFPC の 532 nm CW レーザ照射によって生じる反射スペクトルの変化

の熱安定性が関与していることが明らかになった。

- (2) 本来相転移を示さない PDA である PDA-TCDO の末端フェニル環の二つの水素をフッ素置換することにより、相転移特性が大きく変化することを明らかにした。さらに、光励起によってのみ相転移を示す PDA を得ることに成功した。

TTF-BA 結晶は、二量体化を伴って、常磁性相から非磁性層相に相転移する。本研究で得られた結果は、この相転移を光制御し、巨視的な磁性を発現させる方法のプロトタイプとなるものである。一方、光励起でのみ相転移を示す PDA が得られたことは、PDA を光記憶あるいは、光スイッチに応用できる可能性が大きくなったと考える。(文責：伊東)

#### 【学会発表】

1. “分極性末端を持つポリジアセチレン結晶における光誘起相転移 II”，小門亮介，坂本直弥，伊東千尋，日本物理学会第 63 回年次大会，2008 年 3 月（東大阪）。
2. “低温相 TTF-BA 結晶の光誘起二量体解離”，中田泰治，伊東千尋，第 19 回光物性研究会，2008 年 12 月（大阪）。
3. “低温相 TTF-BA 結晶における二量体の光解離”，中田泰治，伊東千尋，第 4 回励起ナノプロセス研究会，2008 年 11 月（和歌山）。
4. “ポリジアセチレン PDA-DFPC における光誘起新

構造相”，小門亮介，坂本直弥，伊東千尋，第 4 回励起ナノプロセス研究会，2008 年 11 月（和歌山）。

5. “ポリジアセチレン結晶の光励起による FT-IR スペクトル変化”，坂本直弥，伊東千尋，第 19 回光物性研究会，2008 年 12 月（大阪）。
6. “ポリジアセチレン PDA-DFPC における特異な光誘起相”，小門亮介，坂本直弥，伊東千尋，第 19 回光物性研究会，2008 年 12 月（大阪）。
7. “低温相テトラチアフルバレン-p-ベンゾキノ結晶における光誘起二量体解離”，中田泰治，伊東千尋，第 20 回光物性研究会，2009 年 12 月（大阪）。
8. “ポリジアセチレン単結晶における光誘起新構造相”，小門亮介，坂本直弥，伊東千尋，日本物理学会第 64 回年次大会，2009 年 3 月（東京）。
9. “テトラチアフルバレン-p-ブromanil 結晶における光誘起二量体解離の温度効果”，中田泰治，伊東千尋，日本物理学会 2009 年秋季大会，2009 年 9 月（岡山）。
10. “Photoinduced dissociation of donor-acceptor pairs in nonmagnetic phase of organic charge-transfer crystal of tetrathiafulvalene-tetrabromo-1,4-benzoquinone”，phys. stat. sol. (b) **245**, 2671 (2008).

#### 2-2-2 ポリジアセチレンにおける光誘起電荷移動

1 次元の共役  $\pi$  系を有するポリジアセチレンはドーピングによって高い電気伝導性を示すため、導電性ポリマーとしての種々の応用が期待されている。特にナノワイヤへの展開は非常に有望視されている。しかしながら従来までのヨウ素ドーピングでは、ドーパントが内部まで侵入しないためドーピングが十分ではないこと、他のデバイス部分を破壊してしまうことなど問題が山積しており、新しいドーピング手法の開発が急務とされている。

そこで、ポリマーの構成単位となるモノマーに予めドーパントとなる骨格を導入するとともに、主鎖の  $\pi$  系も拡張するという新しい分子設計を行った。この狙いは、Fig. 2-2-2.1 に示したように、重合後のポリマー内電荷移動により、主鎖の  $\pi$  系をドーピング(自己ドーピング)するというものである。分子の中ではカルバゾール環が主鎖と共役した形で導入され、これが  $\pi$  系の拡張の役割を果たす。一方で p-シアノフェニル基がドーパントの役割を担っている。



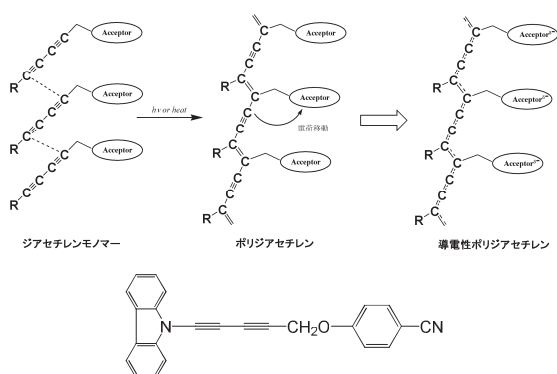


Fig. 2-2-2.1 自己ドープ型ポリジアセチレンの模式図(上)と実際に設計・合成した化合物

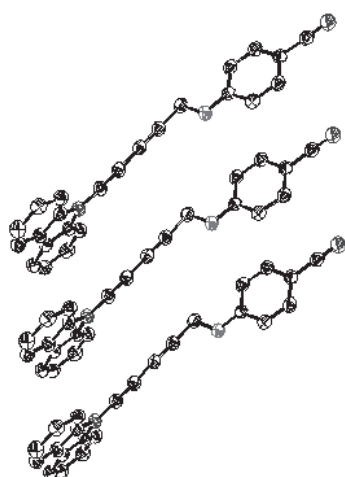


Fig. 2-2-2.2 合成した化合物の結晶構造

この化合物の結晶構造を Fig. 2-2-2.2 に示した。狙い通りの分子が合成され、その相対配置も重合反応に適したものとなっている。この結晶を加熱すると 90℃付近から重合反応の進行が認められた。得られたポリマーの吸収スペクトルを測定すると 560 nm にエキシトン遷移と帰属される幅広の吸収が観測された。この吸収波長より得られたポリマーは周期性の高い青色相のポリジアセチレンであることがわかった。

次にこの化合物の発光スペクトルを測定したところ 750 nm 付近を中心とする幅広のピークが観測された(Fig.2-2-2.3)。通常のポリジアセチレンではこの波長付近に発光は与えない。報告例の中で発光波長の近いものを調べるとドープしたポリジアセチレンからの発光と類似している。このことより現在観測されている発光は、ポリジアセチレンの共役π系が

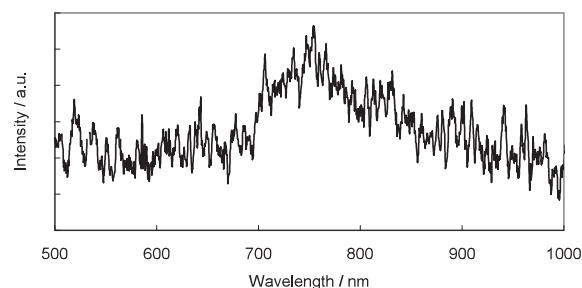


Fig. 2-2-2.3 合成したポリマーの発光スペクトル ( $\lambda_{ex} = 266 \text{ nm}$ )

励起されたのち、側鎖のシアノフェニル基へと電荷移動した、電荷分離状態からのものと考えられることができる。

今後の展開として、現状ではドナー性、アクセプター性の低さから電荷分離状態を定常的に実現することはできていないが、アクセプター側の分子設計を見直すことで、目標とした系が実現できるものと考えている。このような自己ドープ系が実現できると、ナノテクノロジーとしての応用のみならず、導電性被覆のような応用も期待される。(文責：奥野)

## 2-3 新規ナノ構造体、ナノ粒子の作製

### 2-3-1 共役ラダー型ポリマーを用いたナノワイヤの開発

無機半導体材料で構成されていたデバイスも微細加工の限界に近づきつつある。これらデバイスの究極の姿として、分子それ自体がメモリーやトランジスタの機能を有する分子素子あるいは分子デバイス研究が重要視されている。この領域において各デバイスに関しては種々のプランが報告されているが、それらの間を結線するナノワイヤに関しては研究が立ち遅れている。

ナノワイヤを構築するといっても大きく分けて2つの方法が考えられる。第1には金や銀などの金属原子を基板上に1つずつ配置してワイヤを構築するもの、第2にはワイヤの役割を果たす巨大分子を基板上に置く方法である。これらのいずれを採択しても非常に大きな手間がかかってしまう。そこでその中間に答えはないか考えたところ、基板上での反応によってナノワイヤの構築はできないかとの着想

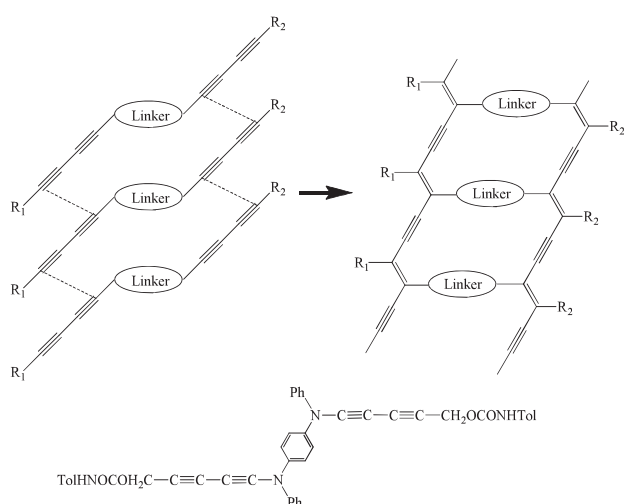


Fig. 2-3-1.1 ラダー型ポリマーの模式図（上）とそれを構築するモノマー（下）

に至り、共役 $\pi$ 系を有するポリジアセチレンをその候補とした。モノマーの段階で集積化を行うことができかつ、場所を選んで重合反応を行うことができるためである。

ポリジアセチレンはFig. 2-2-2.1にも示したように $\pi$ 共役した一次元ポリマーであり、この $\pi$ 系からドーピングによって電子を奪うことにより高い電気伝導性を与える物質である。しかしながら、一次元ポリマーの場合、重合反応が途中で中断あるいはポリマーの化学的な分解が生じるとその部分は $\pi$ 系の切断すなわちナノワイヤの断線という宿命を背負っている。この問題点を克服するために共役鎖をさらに共役系で架橋してラダー状の構造とし、複数の導電経路を有するナノワイヤを構築することを目的とした。

ラダー型のナノワイヤ構築のための系ならびに分子設計を Fig. 2-3-1.1 に示した。この系において Linker に相当するのが p-フェニレンジアミンの骨格である。この骨格は単に共役系であるということだけではなく、この骨格自体がドーピングを受けやすいため、この部分もドーピングを受けて電気伝導度を向上させるという狙いも込められている。次にこの化合物の結晶構造を図 2-3-1.2 に示した。この分子配列はジアセチレンモノマーが重合してポリジアセチレンを与えるための条件を満たしており、実際に 80 °C 以上に加熱や光照射によって重合反応が進行した。

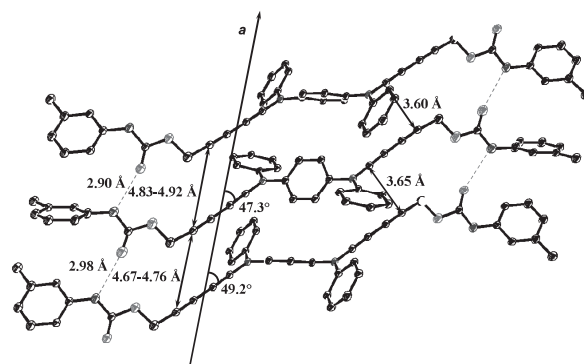


Fig. 2-3-1.2 重合前のラダー型ポリマーの結晶構造

完全に重合反応を進行させるためには 90 °C で約 400 時間加熱を行う必要があった。完全に重合反応を進行させた後に、粉末状態において X 線回折強度の測定を行ったところ、比較的鋭い回折線を与えた。この結果は Linker で架橋したことによって構造が剛直に保たれたことを意味している。

このポリマーに対してヨウ素をドーパントとして用いてドーピングを行った。ドーピング前には電気伝導度が  $\sigma_{RT} = 5 \times 10^{-12} \text{ S cm}^{-1}$  という絶縁体であったが、室温でのドーピング後では  $\sigma_{RT} = 2 \times 10^{-6}$  という値へと増大し、従来のポリジアセチレンの電気伝導度を超える値となった。更に加熱してドーピングを行うと更に電気伝導度が向上することが明らかになった。

最後に、ラダー状にしたことによって従来のポリジアセチレンよりも良好な物性を示すことが明らかになった。今後はフィルム状態でも物性測定やヨウ素以外のドーパントによるドーピングを試みて実用に耐える物質にまで高めていく予定である。（文責：奥野）

## 2-3-2 液中レーザーアブレーション法によるナノ粒子作製

【目的】 機能性有機分子材料は、近年環境適応型電子・光デバイスへの新規材料として注目されており、その機能性を損なわずに簡便に利用するニーズが高まっている。しかし、有機分子材料は、 $\pi$ 電子による分子間相互作用が強く溶媒に難溶性のものが多く、デバイス作製においては、通常、真空蒸着法などの高コストプロセスが用いられている。可溶性のため、かさ高いアルキル基を付加する方法があるが、合成過程が増え、また、本来の機能に影響を与

えることもある。従って、機能性化合物そのものが可溶となれば、インクジェットプリンタ技術などの応用により、飛躍的な製造コストの軽減が期待できる。本研究では、液中レーザーアブレーション法を用い、難溶性材料をナノ粒子化することで可溶化させる技術を広く利用する為の条件を明らかにした。

**【実験】** 液中レーザーアブレーション法は、貧溶媒中に有機微結晶を懸濁させ、そこへパルスレーザー（5ns, 10Hz, MOPO, PS）を照射することによりレーザーアブレーションを誘起し、有機微結晶を粉砕することによりナノ粒子分散溶液を作製する手法である。この方法では、照射レーザーの種々可変パラメーターを調節することにより、分散ナノ粒子の粒径制御が可能であることや、生成過程において不純物の混入しない事などの利点があげられる。

本研究ではいくつかの有機物の分散水溶液を作製し、液中レーザーアブレーション法によりナノコロイド粒子作製を試みて、この手法に適した有機材料の選択を行った。また、さらに、実用化に向けて生産性の向上をめざし、ナノ粒子分散液の生成効率に対する温度依存性を調べるため、種々温度条件下における有機ナノ粒子分散液作製を行った。

**【結果】** 光吸収スペクトル測定、顕微発光スペクトル測定、TOF-MASS 測定、AFM 観察、TEM 観察などの分析法を用いて、作製したナノ粒子の評価を行った。その結果、有機物の種類によって、液中レーザーアブレーション法への耐性に違いが現れることが分かった。液中レーザーアブレーションに耐える有機物は C<sub>60</sub>, Quinacridone (QA), Quinacridone quinone などの剛直性に優れた化合物であり、一方で、有機 EL 材料に使われている Rubrene 分子は今回の実験条件では分解することが明らかになった。

水溶液中（25℃）のレーザーアブレーション法で作製した Quinacridone quinone のナノ微粒子は、330nm 程度の粒子として非常に分散性良くかつ均一に存在することが分かった。(Fig. 2-3-2.1)これは、良溶媒（ジクロロベンゼン）に解かした試料では見られない特徴であった。

また、QA 粉末を水中に懸濁させ（ $1.9 \times 10^{-4}$  M）、25, 50, 75℃ に加熱しながら、ナノ秒 Nd<sup>3+</sup>:YAG パルスレーザー（波長：355 nm、パルス幅：7 ns、繰り返し：10 Hz）を照射した。生成した各キナクリドン

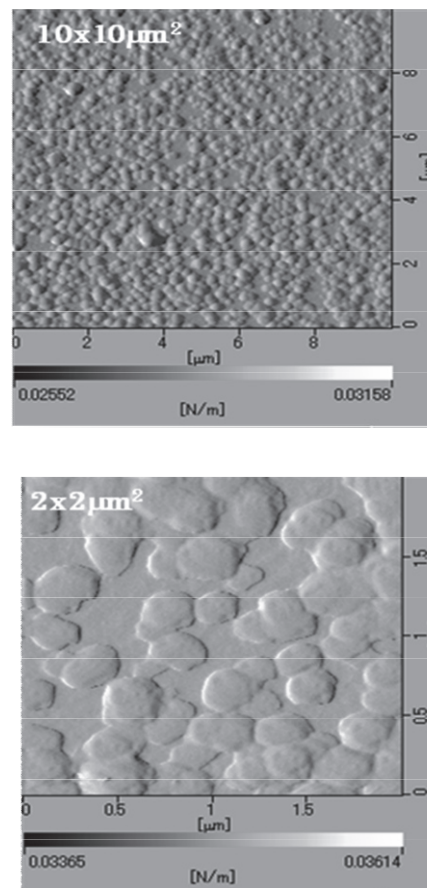
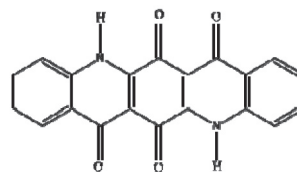


Fig. 2-3-2.1 キナクリドンキノンの分子構造(上図)とレーザーアブレーション法(430nm, 30mJ/cm<sup>2</sup>, 5ns, 10Hz)で作製したナノ粒子の AFM 像

ナノ粒子分散液の最大吸収波長における吸光度の変化を、レーザー照射時間に対してプロットした結果を Fig. 2-3-2.2 に示す。この図から、より高温条件下においてレーザー照射を行った方が、高効率な粉砕が誘起されていることが示唆される。次に、各温度において吸光度が飽和するまでレーザーを照射し、得られたナノ粒子分散液の DLS 測定を行った。その結果、より高温条件下においてレーザー照射を行った方が、粒径が小さく且つサイズ分布が狭いナノ粒子が作製できることが分かり (Table. 2-3-2.1), さらに

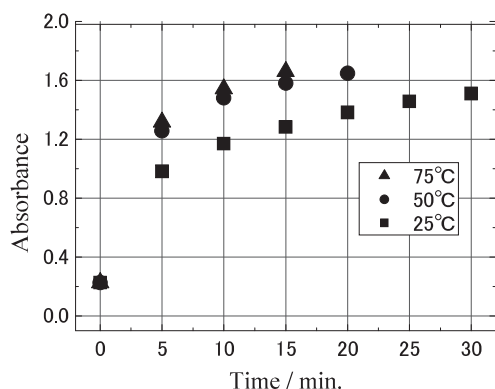


Fig. 2-3-2.2 キナクリドンコロイド水溶液（温度 25, 50, 75℃）の吸光度の照射時間依存性

Table 2-3-2.1 レーザーアブレーション後のキナクリドンナノ粒子の粒子径とサイズ分布

温度	粒径 (nm)	標準偏差 (%)
25℃	106	32
50℃	99	26
75℃	89	26

に高い分散安定性を有していることも分かった。

**【今後の展望】** 液中レーザーアブレーション法によるナノコロイド粒子作製法を用いると、通常可溶でない有機色素・顔料や炭素材料及び医薬品などのナノ粒子分散液が作製可能である。環境・生体負荷の低い水溶液としての利用が見込まれる。また、電子・光デバイス分野でも機能性有機分子材料は新規材料として注目されており、可溶化技術の向上により、従来真空技術を用いた高コストプロセスであったものを、印刷技術が適用できる低コストのウェットプロセスに変えることが期待される。

今後は、作製したナノコロイド水溶液を用いて、ウェットプロセスによる有機 EL 素子作製などをめざす。その一方で、ナノ粒子界面での電子状態の詳細など、物性面はまだあまり明らかになっていない。今後は、これらの物性を調べ、電子材料としてのナノ粒子の特徴を研究する。（文責：秋元，顧）

## 【学会発表】

1. “Preparing C<sub>60</sub> Aqueous Suspension by Laser Ablation Process” Ping Gu, Ikuko Akimoto and Chihiro Itoh, ISPEN-2009, Wakayama, 20 Nov. 2009
2. 「液中レーザーアブレーションプロセスにおける温度効果」顧 萍，秋元 郁子，伊東 千尋，梁 仙一，王 勇，杉山 輝樹，増原 宏；第 57 回応用物理学関係連合講演会(2010 年 3 月)17p-E-7
3. 「溶液レーザーアブレーション法による有機ナノ微粒子作製と OLED への応用」大畠 正裕，尾崎 信彦，秋元 郁子 第 57 回応用物理学関係連合講演会(2010 年 3 月) 19p-ZE-10

## 2-4 構造変化制御に基づくナノ構造素子の信頼性向上

**目的** 青色発光ダイオードの開発に端を発して、最近の半導体発光素子の研究開発の進展は目を見張るものがある。これら半導体レーザーなどでは、動作時はキャリアが多数注入され、いわゆる電子励起状態になっている。そこで誘起される電子構造変化は通常、欠陥反応（生成，移動，増殖，消滅）などネガティブな形として現れることになる。欠陥反応は発光効率を劣化させ素子の寿命を制限する原因として、その根本的な解決策が求められている。急速な劣化現象を引き起こす原因として、キャリアの無輻射再結合によって生じる過渡的な格子振動（multiphonon process）が、欠陥反応を誘起することが指摘されている。本研究ではそのエネルギー転換の仕組みを明らかにし、シミュレーションをもとに、その反応確率を支配する最大の要因を明らかにした。

**欠陥反応の機構** 現在までに提案されている欠陥反応の機構は多々あるが、それらは大まかには次の 2 つに分類することができる（Fig. 2-4.1）。

- 1) 断熱不安定化機構：欠陥の荷電状態（電子状態）の変化が構造不安定性を引き起こす。
- 2) フォノンキック機構：キャリアの再結合によって放出される過渡的な格子振動が原子の移動を促進させる。

### 1) 断熱不安定化機構 (Instability Mechanism)

特定の電子状態では、原子配置の不安定化が生じるという機構である。Fig. 2-4.1(a)に示したように、欠



陥での電子状態が  $g$  のときは、原子移動が生じるためにはポテンシャル障壁  $E_t$  を乗り越えなくてはならないが、電子状態が  $ex1$  のときは障壁なしに、 $ex2$  のときは障壁が低くなる ( $E_t^*$ ) という、機構である。電子状態  $g$ ,  $ex1$ ,  $ex2$  は仮に名付けたものであり、たとえば、欠陥が電氣的に中性の状態、荷電した状態、欠陥内励起状態、などのいずれであってもよい。したがって、光吸収・放出、キャリア捕獲などで欠陥のイオン化・中性化、欠陥内励起などが生じると、欠陥反応が誘起されることになる。格子間不純物の拡散促進に関する Bougoïn-Corbett 機構も断熱不安定化機構の一種である。

## 2) フォノンキック機構 (phonon-kick mechanism)

キャリアの捕獲中心として働く、ある点欠陥を取り上げる。問題は、引き続きキャリア捕獲がどのように生じ、電子的エネルギー  $E_g$  がどのようになタイミングで放出されるかである。典型的な断熱ポテンシャルの例を Fig. 2-4.2 に示す。簡単のため初期欠陥  $Di$  は二種類の荷電状態  $Di^+$  と  $Di^0$  を持つものとする ( $Di^0$  と  $Di^-$  あるいは  $Di^-$  と  $Di^{2-}$  の場合は、以下の議論で、そのままの順番で置き換えればよい)。  $Di^+$  に対する原子配置の安定点を原点とし、  $Di^0$  に対する原子配置の安定点へ引いた座標軸を  $Q_1$  とする。  $Q_1$  は相互作用モードと呼ばれ、異なる振動数をもつ基準振動座標の線形結合で与えられる。  $Di$  を介しての再結合は2段階プロセスで完結する。ここで  $E_{th}^e$  は電子の熱的束縛エネルギー (thermal depth),  $E_{th}^h$  は  $Di^0$  を正孔が束縛されているとみなしたときの正孔の熱的束縛エネルギーである ( $E_g = E_{th}^e + E_{th}^h$ )。したがって、

- 1)  $E_{th}^e$  と  $E_{th}^h$  のどちらが大きいのか。
- 2) 電子と正孔のどちらが少数キャリアか。
- 3) 相互作用モード  $q$  と欠陥生成モード  $Q_R$

( $Di \rightarrow Df$ ) の関係 (重なり具合およびその向き)。

に応じて、欠陥反応の様相が大きく変化してくる。

定量的に欠陥反応の確率を見積もるために、以下のようなモデルシミュレーションを行った。

関与する格子振動の平均角振動数を  $\omega_0$

相互作用モードの減衰時間を  $\tau = 2\pi/\delta\omega$ ,

断熱ポテンシャルの交差点を通過する際に、

キャリア捕獲が生じるかどうかの確率  $Pe, Ph$

とする。時刻  $t=0$  で格子変位  $Q_1$  が熱的に  $Q_c$  まで励起されたと仮定すると、その後の時間発展は

$$Q_1(t) = Q_1^{\text{before}}(t) + \bar{Q}_1 \left\{ 1 - \sum_j^N \theta(t - t_{ej}) \exp[-\Delta\omega^2(t - t_{ej})^2/4] \cos\omega_0(t - t_{ej}) + \sum_j^N \theta(t - t_{hj}) \exp[-\Delta\omega^2(t - t_{hj})^2/4] \cos\omega_0(t - t_{hj}) \right\},$$

で与えられる。ここで  $t_{e1} < t_{h1} < t_{e2} < t_{h2} < \dots < t_{eN} < t_{hN}$ , は各捕獲の時刻であるが、それぞれの値は  $Q_1(t)$  が交差点を通過する時刻の中からキャリア捕獲するかどうかの確率  $Pe, Ph$  に依存して定まる。Fig. 2-4.3 に示すように  $Pe, Ph$  が小さいときは、ある捕獲によって誘起された過渡的格子振動が減衰するまでに次の捕獲が生じないので、連鎖反応は生じない。しかし  $Pe, Ph$  が大きくなると、コヒーレントな連続捕獲が生じ、誘起された格子振動が重畳して累積してくる。その振幅発散が臨界値  $Q_c$  を超えるかどうかで欠陥反応の成否が決まる。結果を Fig. 2-4.4 にまとめた。

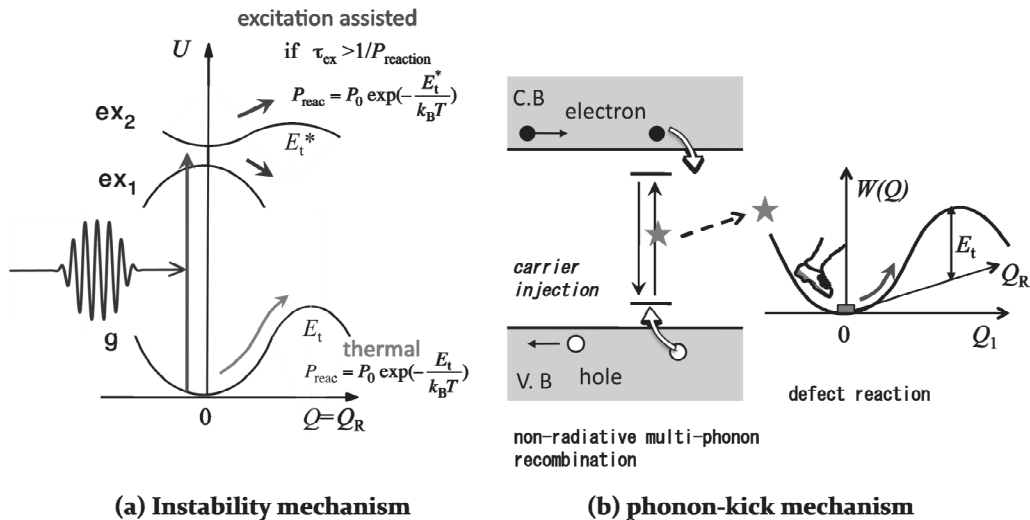


Fig. 2-4.1 提案されている2つの欠陥反応機構

以上を総合すると、少数キャリアの捕獲が引き起こす格子緩和過程と引き続く多数キャリアの促進された捕獲過程の関係、および前記の 1)~3)を考慮すれば、(a)断熱不安定化機構と (b) フォノンキック機構とは、キャリア捕獲過程が引き起こす欠陥反応のうち、静的な過程とダイナミカルな過程という二つの極限として、統一して扱うことができる。

例えば  $\text{Di}^0$  での安定原子配置が off-center 配置で、それが欠陥反応の precursor であるとする、電子捕獲によって生じる格子緩和過程で欠陥反応がダイナミカルに誘起される。また、その電子捕獲は、少数キャリアの正孔捕獲後の格子緩和過程によって促進されることが分かる。(文責：篠塚)

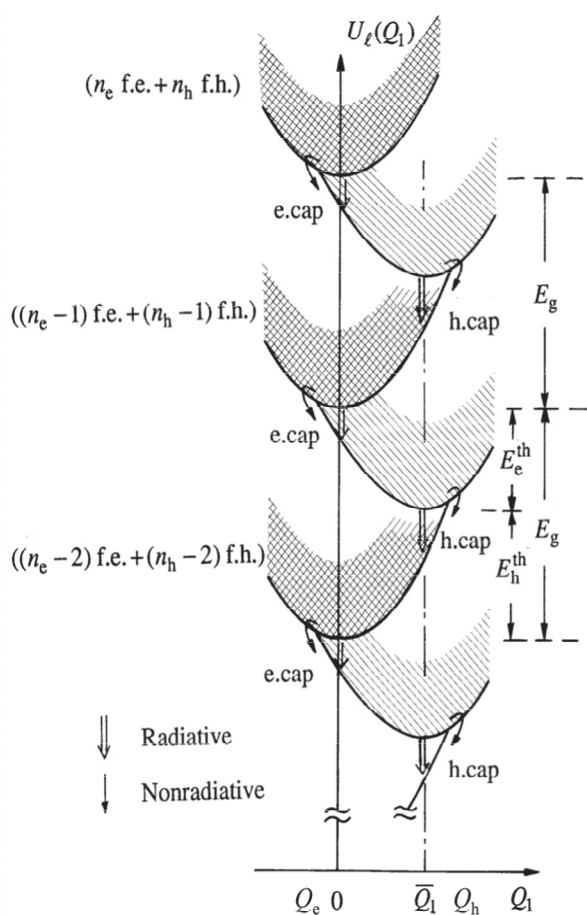


Fig. 2-4.2 典型的な断熱ポテンシャル (配位座標)

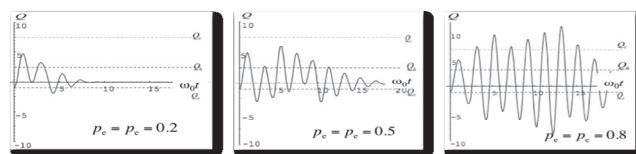


Fig. 2-4.3 キャリヤの連続捕獲が引き起こす過渡的格子振動

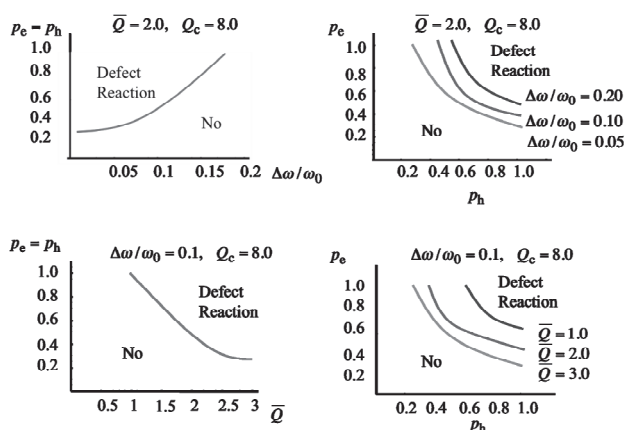


Fig. 2-4.4 欠陥反応が生じるかの判定条件の例

#### 【学術論文】

1) Y. Shinozuka, "Mechanism of Defect Reactions in Semiconductors", Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 1195, B02-02

#### 【学会発表】

- 1) 根来雅之, 篠塚雄三: 「配位座標モデルを用いた多フォノン無輻射再結合過程の動画表現」第 69 回応用物理学会学術講演会 中部大学 2008 年 9 月 3 日
- 2) 東峻, 篠塚雄三: 「ナノチューブでの電子の量子的伝搬の理論」2010 年春季応用物理学関連連合講演会 東海大学 2010 年 3 月 19 日
- 3) 森善彦, 篠塚雄三「光電子の反跳効果による吸着原子の振動変化の理論」2010 年春季応用物理学関連連合講演会 東海大学 2010 年 3 月 19 日
- 4) M. Negoro, S. Matsutani, T. Higashi, and Y. Shinozuka: "Mechanism of Capture-Enhanced Defect Reactions in Semiconductors" "ISPEN-2009, Wakayama, 20 Nov. 2009
- 5) Y. Shinozuka, "Mechanism of Defect Reactions in Semiconductors", Materials Research Society 2009 Fall Meeting 30 Nov. 2009 (invited)

### 3. 和歌山大学での拠点形成

#### 3-1 応用物理学会との連携

新しい機能や優れた特性をもつ電子材料を創製するには、所望の電子的特性を示す新しい原子凝集形態・配列構造をいかに作り出すか、さらにはその効率的な作製法の実現が鍵となる。現在、ナノテクノロジーの分野においては、レーザー光や電子線などの量子ビーム照射を用いた各種非平衡励起プロセスが提案されている。それらの多くでは、まず物質の電子系が励起され、その後、原子の凝集形態が変化していく、つまり電子励起非平衡状態の物質ダイナミクスが物質形態変化を支配している。しかし、その多くについて、インプット（励起）とアウトプット（構造変化）の間を繋げる物理機構の詳細は明らかではない。これらナノプロセスを真に科学的な基礎に裏づけられたものにするを目的に、数年前に、篠塚（和歌山大）と前田（東大）、村上（筑波大）が中心となって、全国の各種励起プロセスの開発研究者ならびに基礎科学研究者に呼びかけ、応用物理学会内に新領域「励起ナノプロセス研究グループ」を創設した。その後、メンバーも約 50 名へと増え、2008 年 1 月から研究会組織へと発展することになった。

本オンリー・ワンプロジェクトは、「励起ナノプロセス研究会」と連携することで研究成果の対外発信および研究拠点形成の実質化を目指すことにした。

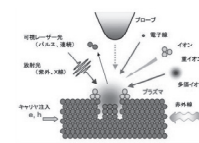
#### 3-1-1 励起ナノプロセス第 4 回研究会

励起ナノプロセス研究会は定期的活動として、年に 1 回、独自の研究会を開催している。第 4 回目の平成 20 年は本オンリー・ワンプロジェクトと共同で和歌山市のフォルテワジマにて開催した。右にそのプログラムを掲載する。北は東北大学から南は九州大学まで 28 名の外部研究者および和歌山大学の教員 6 名、大学院生 9 名の参加者があり、活発な議論が行われ盛況であった。本学の院生も本プロジェクト成果に関しポスター発表を行った。

余談ではあるが、たまたま当日はボジョレーヌーボーの解禁日であった。夕刻、隣で開催された試飲会に、研究会の懇親会を兼ねてこれ幸いと集団で参加することになった。参加者が種々のワインによって励起され（表情が）構造変化した様子の痕跡を、次の日の記念写真 (Fig.3-1-1) に見ることができる。



#### 第 4 回励起ナノプロセス研究会



日時：2008 年 11 月 21 日（金）13:30～ 22 日（土）17:00

場所：和歌山大学サテライト（和歌山市本町 2-1 フォルテワジマ 4F, 6F）

主催：応用物理学会励起ナノプロセス研究会

共催、協賛：和歌山大学オンリー・ワン創成プロジェクト、日本物理学会大阪支部

内容：レーザー光や電子線などの量子ビームを時空間で制御しながら照射することによって、熱的機構では起こらない固体反応を局所的に誘起し、非平衡状態ならではの構造変化、自己組織化、原子脱離・移動を高い効率で、且つ制御性よく実現する手法を開発し、その構造変化の機構と制御を支配する要因を明らかにする。

***** プログラム *****	
11月21日（金） 13:30～18:20	
①A 緩和ダイナミクスの時空間計測と制御の最前線 司会：伊東千尋（和歌山大）、押山 淳（東大）	
13:30～13:40 はじめに	篠塚雄三（和歌山大）
13:40～14:30 量子ビームが作り出す非平衡現象の探索とその応用	松尾二郎（京大）
14:30～15:20 金属表面吸着種の光誘起コヒーレント振動の核放光ダイナミクス	信定克幸（分子研）
15:40～18:20 励起ナノプロセスに関する最新成果報告 12件	口頭発表ポスター発表（次ページ）
18:20～21:00 懇親会（フォルテワジマ 4F イベントホール）	
11月22日（土） 9:00～17:00	
①B 緩和ダイナミクスの時空間計測と制御の最前線 司会：小森文夫（物理研）、村上浩一（筑波大）	
9:00～ 9:50 超短パルスレーザー照射後の電子・格子緩和ダイナミクス	長谷奈明（筑波大）
10:10～11:00 時間分解STMによる局所励起構造の計測	武内 修（筑波大）
11:00～11:50 低遅電子線照射によるSi（001）表面構造変換	河合 伸（九大）
12:00～12:30 昼食	
② カーボン系構造変化の最前線 司会：前田康二（東大）、篠塚雄三（和歌山大）	
13:10～14:00 パルスレーザー照射によるグラファイトの構造変化	金崎順一（阪大）
14:00～14:50 グラファイトの光誘起相転移の理論	那須圭一郎（物構研）
15:10～16:00 放射光、電子線照射によるCNTの構造変化	鈴木 哲、小林康裕（NTT）
16:00～16:50 カーボン系構造変化の第一原理シミュレーション	岡田 晋（筑波大）
16:50～17:00 おわりに	篠塚雄三（和歌山大）

2008.11.21-22 和歌山大学サテライト

#### 第 4 回励起ナノプロセス研究会

21日（金）口頭発表ポスター発表のセッション：励起ナノプロセスに関する最新成果報告

15:40～17:00 口頭発表の部 1件あたり6分（討論時間なし）

17:00～18:20 ポスター発表の部

- フェムト秒X線回折法による格子緩和過程の評価 京大工 ○羽田真哉、松尾二郎
- STM探針からのキャリア注入による電子・原子ダイナミクス 東大物性研、清華大学<sup>1</sup> 富松宏太、中辻 寛、○小森文夫、YAN Binghai<sup>1</sup>, DUAN Wenhui<sup>1</sup>
- レーザー照射によるキャリアのコヒーレント局在と励起ナノプロセス制御 大阪府大工 野増賢一
- 傾斜6H-SiC上のエピタキシャルグラフェンのラマン散乱 和歌山大教育、京都工芸繊維大、<sup>2</sup>九州大、<sup>3</sup>福井大  
○木曾田賢治 内藤亮治<sup>1</sup>、荒 仁志<sup>1</sup>、嶋井 晋<sup>1</sup>、蓮池紀幸<sup>1</sup>、堀野 弘<sup>1</sup>、田中 裕<sup>2</sup>、橋本明弘<sup>3</sup>
- 単層カーボンナノチューブの軟X線照射効果 和歌山大ススエ ○清口大輔、若本和也、伊東千尋
- ポリジアセチレンPDA-DPPCにおける光誘起新構造相 和歌山大ススエ ○小門亮介、坂本直弥、伊東千尋
- 低遅相TTF-BA結晶における二量体の光解離 和歌山大ススエ ○中田泰治、伊東千尋
- マグネリ相Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub>単結晶における光誘起相転移 和歌山大ススエ ○勝部 渉、伊東千尋
- Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub>結晶の光誘起相転移 -ESR検出の試み- 和歌山大ススエ、京大理<sup>1</sup>、京大iCeMS<sup>2</sup>、京大入理<sup>3</sup>  
○秋元都子、宮原正明<sup>1</sup>、田中耕一郎<sup>1,4</sup>、渡辺雅之<sup>2</sup>、神野賢一<sup>3</sup>
- シリコンカーバイドにおけるフェムト秒レーザー改質部の赤外分光 <sup>1</sup>徳島大学ソリオテクノサイエンス研究部 <sup>2</sup>機械技術振興協会 先端IGTデバイスG  
○若見勝弘<sup>1</sup>、富田卓朗<sup>1</sup>、松尾繁樹<sup>1</sup>、橋本修一<sup>1</sup>、齋藤伸吾<sup>2</sup>、阪井清美<sup>2</sup>
- SiCへのフェムト秒レーザー照射によって誘起されたアモルファス相の分析 <sup>1</sup>徳島大学ソリオテクノサイエンス研究部 <sup>2</sup>機械技術振興協会 技術研究所  
<sup>3</sup>旭硝子株式会社 中央研究所 <sup>4</sup>武蔵工業大学 総合研究所  
○富田卓朗<sup>1</sup>、岡田達也<sup>1</sup>、河原隆之<sup>1</sup>、能井亮太<sup>1</sup>、松尾繁樹<sup>1</sup>、橋本修一<sup>1</sup>  
山口 誠<sup>2</sup>、上野 滋<sup>2</sup>、川本昌子<sup>3</sup>、新藤恵美<sup>4</sup>、吉田 明<sup>4</sup>
- TEM内その場可視分光法によるw-ZnO単結晶中の転位の局在電子状態解析 東北大金研 ○大野 裕、太子敏朗、米永一郎



Fig.3-1-1 励起ナノプロセス第4回研究会

### 3-1-2 国際シンポジウム ISPEN-2009

第5回目となる平成21年は、本オンリー・ワンプロジェクトの2年目にあたるため、その成果の国際的発信を兼ねて、11月下旬に和歌山市で国際シンポジウムを開催することにした。励起ナノプロセス研究会の協力を得て、シンポジウムの企画、ならびに招待講演者の選定を行った。主テーマとしては

General: 励起ナノプロセスの基礎、総合報告など

Cutting Edge Tool: 先端的な研究手法（第一原理計算、時間分解測定法、原子分子操作法など）

Promising Material: 今後益々重要となる物質系（カーボン系、太陽電池等グリーンマテリアル、光ディスクなど）

の3つの柱を掲げることにした。口頭講演14件は全て招待講演とし、アメリカ、イギリス、ドイツ、フランス、および日本全国から、それぞれの研究第一任者に講演して頂くことにした。

名称：International Symposium on the Physics of  
Excitation-assisted Nano-processes

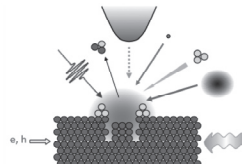
日時：平成21年11月20-21日

場所：ダイワロイネットホテル和歌山（20日）、  
和歌山市役所（21日）

シンポジウムの詳細については右にサーキュラーの抜粋を掲げる。ポスター発表として一般投稿を募集したところ、韓国からの応募も含めて23件の発表があった。講演要旨集として Symposium Booklet ISPEN-2009 Extended Abstract を正式に発行した (ISBN978-4-9904953-0-5)。シンポジウム参加者は国内外を含めて約60名で、多くの方から意欲的な企画であるとの賞賛を頂いた (Fig.3-1-2.1~3)。2日目の昼食後に、mini excursion として近くの和歌山城に見学に行った際の記念写真を Fig.3-1-2.4 に掲げる。

## International Symposium on the Physics of Excitation-assisted Nano-processes

November 20-21, 2009, Wakayama, Japan



#### Scope

This symposium aims to provide an opportunity for international discussion on progress in the physics of excitation-assisted nano-processes. It will focus on the recent theoretical and experimental advances in the study of various atomic processes in bulk, surface and nano systems induced by electronic excitations including ultra fast laser, synchrotron radiation, electron beam, probe injection, multi-charged ion, heavy ion and so on. A set of keynote (invited) talks will be arranged to introduce this new arising field of science and technology to those people who are interested in the underlying physics and applications to novel processes unachievable by conventional techniques. Contributed poster presentations are also arranged.

#### Location

Daiwa Roynet Hotel Wakayama (20 Nov.) and Wakayama-City Center "Mirai" (21 Nov.)

#### Keywords

quantum beam, laser (visible, IR, UV), X-ray, Synchrotron Radiation, electron beam, molecule, ion, heavy ion, multi-charged ion, carrier injection, probe excitation, etc. structural change, symmetry breaking, self-assembly, self-organization, first principle molecular simulation during and after excitations, manipulation of atoms, molecules and nanoparticles on solid surfaces, energy transfer and dissipation

#### Deadline

Poster paper submission: October 23, 2009  
Notification of acceptance: the end of October 2009.

#### Organization

"Professional Group of Excitation-controlled Nano-processes" in the Japan Society of Applied Physics  
One-only Project "Excitation-assisted Nano-processes" of Wakayama University

#### Program (tentative) 20 Nov. (Friday) Roynet Hotel Wakayama 3F. Briller

9:20-9:40	Opening Address	Yuzo Shinozuka (Wakayama University, Japan)
General	chair: Yosuke Kayanuma (Osaka Pref. Univ.)	
9:40-10:20	Material modification by electronic excitation	Alexander Shluger (University College London, UK) invited
10:20-10:40	break	
	chair: Koji Maeda (Univ. Tokyo, Japan)	
10:40-11:20	Research trend of Nano-fabrication in US	D. Howard Fairbrother (Johns Hopkins University, USA) invited
11:20-12:00	Research trend of Nano-fabrication in Japan	Toshihiko Kanayama (Inst. of Adv. Industrial Sci. & Tech., Japan) invited
12:00-13:20	lunch	
Promising materials part 1	chair: Housai Akazawa (NTT, Japan)	
13:20-14:00	Electronic excitation of nano particles	Hidehiro Yasuda (Kobe University, Japan) invited
14:00-14:40	Re-Writability and its Mechanism in DVD: Phase-Change Mechanism Chalcogenide Alloy between Amorphous and Crystal	Paul Fons, Alexander Kolobov and Junji Tominaga (National Inst. of Advanced Industrial Sci. & Tech., Japan) invited
14:40-15:00	break	
Promising materials part 2	chair: Alexander Kolobov (AIST, Japan)	
15:00-15:40	Degradation of Solar Cells -optical degradation and radiation damage	Yoshio Ohshita and Masafumi Yamaguchi (Toyota Tech. Inst., Japan) invited
15:40-16:20	3D Nanostructure Fabrication using Focused Cluster Ion Beam	Jun'ichi Fujita (Tsukuba University, Japan) invited
16:20-16:40	break	
16:40-18:20	Poster Session	
18:40-	Banquet	(Roynet Hotel Wakayama 3F. Grande)

#### Program (tentative) 21 Nov. (Saturday) Wakayama-City Office 14F.

Cutting-edge tools part 1	chair: Katsumi Tanimura (Osaka University, Japan)	
9:00-9:40	Manipulation of atoms and molecules by probe excitations	Gérard Dujardin (Lab. de Photophysique Mol�culaire, France) invited
9:40-10:20	Time-dependent quantum phenomena (first principle theory)	Yoshiyuki Miyamoto (NEC Corporation, Japan) invited
10:20-10:40	break	
Promising materials part 3	chair: Chihiro Itoh (Wakayama Univ., Japan)	
10:40-11:20	Photostructural change of graphite by ultra short pulse laser excitation	Jun'ichi Kanasaki and Katsumi Tanimura (Osaka University, Japan) invited



11:20-12:00 *Structural change of CNT by X-ray irradiation and probe excitation*  
Yutaka Mera (Tokyo University, Japan) invited  
12:00-13:20 ----- lunch -----  
13:20-14:20 Mini Excursion to Wakayama Castle

Cutting-edge tools part 2 chair: Jiro Matsuo (Kyoto Univ., Japan)  
14:20-15:00 *Ultrafast laser-induced phase-transition in solids*  
Klaus Sokolowski-Tinten (Univ. Duisburg-Essen, Germany) invited  
15:00-15:40 *Time resolved X-ray diffraction*  
Shinya Koshihara (Tokyo Institute of Technology, Japan) invited  
15:40-16:20 *Time resolved electron diffraction*  
Yoshie Murooka (Osaka University, Japan) invited  
16:20-16:40 *Closing Address*  
Yuzo Shinozuka (Wakayama University, Japan)

Keynote (invited) talk is composed of 30 min. talk and 10 min. discussion.

#### Contributed Poster

Those who wish to present a paper in the symposium must submit an abstract not later than 23<sup>rd</sup> October 2009. The one page abstract format is given in symposium WEB page. Notification of acceptance will be sent at the end of October 2009. Accepted abstracts are printed in color in the Symposium Booklet. Allotted poster area is 90 cm width and 120 cm height.

*Poster Award: The best poster will be awarded in the closing session.*

#### Symposium Booklet

A symposium booklet is published in color as an Extended Abstract of ISPEN with ISBN (coming soon). It contains all the abstracts of keynote talks and poster papers (not include post-deadline papers), and will be exclusively distributed at the Reception Desk.

#### Registration and Fees

Admission Fee to the symposium is 10,000 JYN for member (Prof. Group JSAP), 12,000 JYN for non-member, 5,000 JYN for student, including and a copy of Symposium Booklet and Banquet Fee. Admission Fee is charged at the Reception Desk. All participants are requested to register by e-mail not later than November 13, 2009 to the symposium office (yytanaka@sys.wakayama-u.ac.jp). Registration form is given in the web site <http://annex.jsap.or.jp/excite/ispenn-register.pdf>.

#### Banquet

Symposium Banquet is arranged for all participants on November 20<sup>th</sup> evening at "Grande" room in Daiwa Roynet Hotel Wakayama with no extra charge.

#### Hotel

A block of rooms has been reserved for participants from 19<sup>th</sup> night to 21<sup>st</sup> morning.

Daiwa Roynet Hotel: symposium site Tel: +81-73-435-0055 Fax: +81-73-435-0056  
<http://www.daiwaroynet.jp/wakayama/>  
Single room JYN 8,300 per night including breakfast, tax and service.

Best Western Hotel Wakayama: 5 min. walk from symposium site

Tel: +81-73-431-8881 Fax: +81-73-431-8882  
<http://bestwestern-joytel.com/wakayama/index.html>  
Single room JYN 5,600 per night including light breakfast, tax and service.

Please contact these hotels directly by phone, fax or WEB and mention that you will attend the symposium to receive the reduced fee (first come first served). Those who want to extend their stay, please consult with each hotel.

#### Travel

Access to Wakayama city is convenient: one-hour train trip from Osaka city, a central city in the west Japan; one-hour bus-ride from Kansai International Airport which directly connected with many cities over the world. Details are given in <http://www.city.wakayama.wakayama.jp/english/directions.html>

In Wakayama prefecture there are many scenery and historical places. Among them Koyasan and Kumanokodo are famous as "Sacred Sites and Pilgrimage Routes in the Kii Mountain Range", which is inscribed in the World Cultural and Natural Heritage of UNESCO. <http://www.sekaiisen-wakayama.jp/english/index.html>  
These places can be visited with one-day trip from Wakayama city.



#### Organizing Committee

Yuzo Shinozuka (Wakayama Univ.) Symposium Chair  
Koji Maeda (Univ. of Tokyo) Houssei Akazawa (NTT)  
Hiroshi Fukushima (New Japan Radio Co.) Tokihiro Ikeda (Riken)  
Kenji Motohashi (Toyo Univ.) Chihiro Itoh (Wakayama Univ.)

#### Advisory Committee

Kouichi Murakami (Tsukuba Univ.) Osamu Ueda (Kanazawa Institute of Tech.)

#### Local Committee (Wakayama Univ.)

Ikuko Akimoto, Masato Oda, Nobuhiko Ozaki, Hirotugu Kida,  
Tsunechisa Okuno, Kenji Kisoda, Gu Ping

#### ISPEN2009 Poster Session November 20<sup>th</sup> (Friday)

- P-1 *Construction of a New Vacuum Ultraviolet/Soft X-ray Undulator Beamline BL-13A in the Photon Factory - a New Opportunity for Study of Dynamics Induced by Core-Excitations -*  
K. Mase, A. Toyoshima, T. Kikuchi, H. Tanaka, K. Amemiya, and K. Ito, KEK, Japan
- P-2 *Development of an Electron Electron Ion Coincidence Apparatus for Auger Photoelectron Coincidence Spectroscopy and Electron Ion Coincidence Spectroscopy, and its Application for Site-Specific Fragmentation of 2,2,2-Trifluoroethanol Chemisorbed on Si(111)*  
T. Yamazaki<sup>1</sup>, S. Hashimoto<sup>1</sup>, N. Fujita<sup>1</sup>, K. Mase<sup>2</sup>, M. Tanaka<sup>3</sup>, M. Okusawa<sup>3</sup>, T. Kakiuchi<sup>4</sup>, and S. Nagaoka<sup>4</sup>, <sup>1</sup>Yokohama National University, <sup>2</sup>KEK, <sup>3</sup>Gunma University, <sup>4</sup>Ehime University, Japan
- P-3 *Site-specific study of electronic structure of fluorinated polymers by Auger photoelectron coincidence spectroscopy*  
K. K. Okudaira<sup>1</sup>, E. Kobayashi<sup>2</sup>, K. Mase<sup>3</sup>, and N. Ueno<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Chiba University, <sup>2</sup>KEK, <sup>3</sup>Kyushu Synchrotron Light Research Center, Japan
- P-4 *Study of H<sup>+</sup> desorption induced by resonant core-excitations of condensed water using Auger-electron polar-angle-resolved-photoion coincidence spectroscopy*  
E. Kobayashi<sup>1</sup>, A. Nambu<sup>2</sup>, and K. Mase, KEK, <sup>1</sup>Kyushu Synchrotron Light Research Center, <sup>2</sup>Hitachi, Ltd. Japan
- P-5 *Preparation of Two-Leg Ladder Polymers Based on Polydiacetylenes*  
H. Tabata and T. Okuno, Wakayama University, Japan
- P-6 *Photoinduced phase transition in polydiacetylene crystals: its dependence on chemical structure of side group*  
Y. Maekawa and C. Itoh, Wakayama University, Japan
- P-7 *Photoinduced melting of dimer order in the low-temperature phase of Tetrathiafulvalene - p-Bromanil single crystal*  
Y. Nakata and C. Itoh, Wakayama University, Japan
- P-8 *Process Simulation of Nanolithography Patterning for Polymer Directed Self-assembly*  
Sang-Kon Kim, Hye-Keun Oh, Young-Dae Jung, and Iljin An, Hanyang University, Korea
- P-9 *Raman spectroscopy of few layer epitaxial graphene on vicinal 6H-SiC excited by deep ultraviolet laser*  
K. Kisoda<sup>1</sup>, S. Kamoi<sup>2</sup>, N. Hasuike<sup>3</sup>, H. Harima<sup>2</sup>, K. Morita<sup>3</sup>, S. Tanaka<sup>3</sup>, and A. Hashimoto<sup>4</sup>, <sup>1</sup>Wakayama University, <sup>2</sup>Kyoto Institute of Technology, <sup>3</sup>Kyushu University, <sup>4</sup>University of Fukui, Japan
- P-10 *Ultrafast Lattice Dynamics of Graphite under Intense Photoexcitation*  
K. Ishioka, M. Kitajima, H. Momida, Y. Tateyama, and T. Ohno, National Institute for Materials Science, Japan
- P-11 *X-ray induced cleaving of single-walled carbon nanotube*  
D. Mizoguchi, K. Iwamoto, and C. Itoh, Wakayama University, Japan
- P-12 *Preparing C<sub>60</sub> Aqueous Suspension by Laser Ablation Process*  
Ping GU, I. Akimoto, and C. Itoh, Wakayama University, Japan
- P-13 *Femtosecond laser induced periodic structure inside SiC observed by TEM*  
T. Tomita, T. Okada, T. Takahashi, M. Yamamoto, M. Deki, S. Matsuo, S. Hashimoto, The University of Tokushima, Japan
- P-14 *Dots Array Formation on Si Surface by Pulsed Laser Irradiation*  
Y. Yoshida<sup>1</sup>, S. Kayashima<sup>1</sup>, S. Yatsu<sup>1</sup>, S. Watanabe<sup>1</sup>, M. Kawai<sup>2</sup> and T. Kato<sup>3</sup>, <sup>1</sup>Hokkaido University, <sup>2</sup>KEK, <sup>3</sup>Hitachi, Ltd., Japan
- P-15 *Nonthermal phase change in GeSb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> induced by Coherent phonon control*  
K. Makino<sup>1</sup>, J. Tominaga<sup>2</sup>, M. Hase<sup>1</sup>, <sup>1</sup>University of Tsukuba, <sup>2</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan
- P-16 *Homogeneous Material Deposition on Focused-Ion-Beam Chemical Vapor Deposition*  
R. Kometani, S. Warisawa, and S. Ishihara, The University of Tokyo, Japan
- P-17 *SEM and AFM Observations of Surfaces Irradiated with Highly Charged Ions*  
M. Sakurai<sup>1</sup>, K. Asakura<sup>1</sup>, N. Iida<sup>1</sup>, M. Tona<sup>2</sup>, T. Terui<sup>3</sup>, and S. Mashiko<sup>3</sup>, <sup>1</sup>Dept. of Physics, <sup>2</sup>Dept. of Chemistry, Kobe University, <sup>3</sup>National Institute of Information and Communications Technology, Japan
- P-18 *Desorption and Sputtering on Polarity Controlled GaN Surfaces by Irradiation of Low-energy Ar<sup>+</sup> (q = 3-8) Ions*  
K. Motohashi, Toyo University, Japan
- P-19 *Soft Excitation and Processing of Polymer Materials with Cluster Ion Beams*  
T. Seki<sup>1,2</sup>, Y. Yamamoto<sup>1</sup>, K. Ichiki<sup>1</sup>, S. Ninomiya<sup>2,3</sup>, J. Matsuo<sup>2,3</sup>, <sup>1</sup>Dept of Nuclear Engineering, <sup>2</sup>Quantum Science and Engineering Center, Kyoto University, <sup>3</sup>CREST-JST, Japan
- P-20 *Effect of ambient pressure on Cu K $\alpha$  X-ray radiation with millijoule and high-repetition-rate femtosecond laser*  
M. Iida<sup>1</sup> and J. Matsuo<sup>2,3</sup>, <sup>1</sup>Dept. of Nuclear Engineering, <sup>2</sup>Quantum Science and Engineering Center, Kyoto University, <sup>3</sup>JST-CREST, Japan
- P-21 *The smallest diameter of semiconducting Carbon Nanotube*  
T. Koike, M. Oda, and Y. Shinozuka, Wakayama University, Japan
- P-22 *Mechanism of Capture-Enhanced Defect Reactions in Semiconductors*  
M. Negoro, S. Matsutani, T. Higashi, and Y. Shinozuka, Wakayama University, Japan
- P-23 *Polymeric Chain Directions of UV-irradiated PDA Single Crystal Obtained by Physical Vapor Growth Technique*  
S. Jo<sup>1</sup>, H. Asano<sup>2</sup> and M. Takenaga<sup>3</sup>, <sup>1</sup>Aichi-Gakuin University, <sup>2</sup>Tokyo University of Science, Japan



Fig.3-1-2.1 ISPEN-2009 1日目  
ダイワ・ロイネットホテル・和歌山

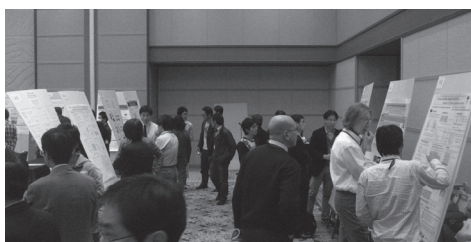


Fig.3-1-2.2 ISPEN-2009 ポスターセッション



Fig.3-1-2.3 ISPEN-2009 2日目 和歌山市役所



Fig.3-1-2.4 ISPEN-2009 での記念写真 (和歌山城)

### 3-1-3 アカデミックロードマップへの参画

日本の科学技術の発展に向けて、学会として長期的ビジョンを共有することは大変有意義である。平成 19 年に経済産業省から機械学会など国内の 4 つの学会に要請委託があり、それぞれの学問分野でアカデミックロードマップの作成事業が始まった。応用物理学会は平成 20 年に創立 75 周年を迎えるため、その記念事業の一環としてアカデミックロードマップ「応用物理における将来ビジョン」の策定作業を行った。平成 20 年の第一版ではシリコンテクノロジーなど 20 ある分野のうち、「ナノ構造技術」に関する将来ビジョン (Fig. 3-1-3.1.2) を励起ナノプロセス研究会が担当することになり、和歌山大学から篠塚と伊東、ならびに東大の前田と筑波大の村上が参加した。平成 22 年の第二版改定作業にも引き続き参画することになり、さらに未来ばかりでなく過去の研究開発の歴史もまとめることになった。「ナノ構造技術発展史」に関して和歌山大学から篠塚と奥野、尾崎ならびに兵庫県立大の松井が参画した。

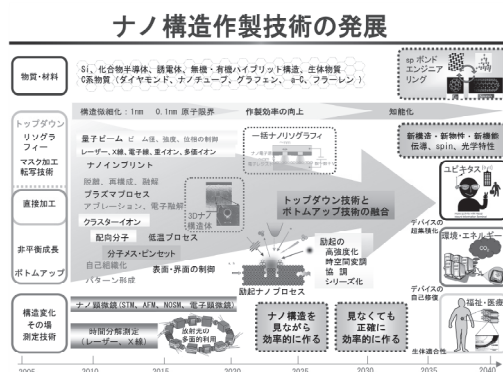


Fig. 3-1-3.1 ナノ構造作製技術マップ

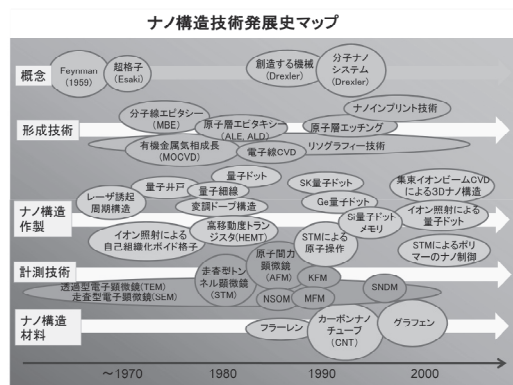


Fig. 3-1-3.2 ナノ構造技術発展史マップ

### 3-2 紀州吉宗セミナー

若手研究者にとって異なる分野の話聞くことは研究の視野を広げるために必要不可欠である。しかし、普段の研究生活において、学会・研究会への参加は当然ながら自身の専門に偏りがちになり、他分野に触れる機会は多くない。そこで、様々な手法(理論・実験を問わず)を用いて多様な物質の研究を進める若手物性研究者を全国から分野横断的に集め、日ごろ触れる機会の少ない他分野の現状や、問題点を共有することを目的として、紀州吉宗セミナーを開いた。平成 20 年度に第 2 回を和歌山大学地域共同研究センターにて、21 年度に第 3 回を和歌山大学サテライトにてそれぞれ開催した。それぞれのプログラムは表 3-2.1,2 に示した。

20 年度はタンパク質の生体機能を量子論的アプローチで解析する理論的研究や、半導体デバイス中のゲート絶縁膜に関する新規解釈に基づく理論的研究など、6 件の講演が行われた。対象とする物質及び各々の手法は多様であったものの、すべての講演が理論的研究であったため、最前線の実験と理論の相互理解という目的の達成感は薄れた。一方で、各分野の問題点を共有するという目的については理論家同士の議論で深く達成され、有意義なものであった。

21 年度はその反省を生かし、実験的手法を用いた研究者 2 名を含む 5 名の講演者を招いた。世界最高峰の高圧状態を作り出す実験的な研究や、ナノ～マイクロスケールの対象を同時に扱う理論的な研究など、対象及び手法共に目的に合致する幅広いスペクトルでの講演が行われた。講演者及び参加者全員による活発な議論が展開され、それぞれの分野に対する理解が深まり、前年度に引き続き有意義なセミナーとなった。(文責：小田)

表 3-2.1 第 2 回紀州吉宗セミナープログラム(H20.8)

はじめに	和大 小田将人
電子のトンネル過程に対する新しい理解 -半導体デバイス中のトンネル現象を通して-	東北大 村口正和
原子・粗視化粒子の マルチスケールシミュレーション法の提案	名工大 小林亮
量子論に基づく蛋白質の生物機能解析	兵県大 神谷克政
Ti2(110)表面上の 水素拡散・水分子吸着と表面荷電効果	豊中研 梶田晴司
カーボンナノチューブにおける 弾道及び拡散伝導現象	産総研 石井宏幸
有機自己組織化絶縁膜と ゲート電極界面の電子状態	和大 小田将人
終わりに	和大 篠塚雄三

表 3-2.2 第 3 回紀州吉宗セミナープログラム(H21.8)

はじめに	和大 小田将人
電気化学バイオセンサーへむけた 電気化学-蛍光XAFS複合装置開発	原研 本田充紀
破壊という現象をミクロな視点から マルチスケールに考える	名工大 小林亮
ナノカーボン系の電気伝導シミュレーション	筑波大 石井宏幸
強相関電子系における 高圧物性研究の最近の話題	東大 松林和幸
半導体表面吸着分子を用いた デバイスの提案	和大 小田将人
終わりに	和大 篠塚雄三

#### 4. まとめと今後の展望

以上、本プロジェクトの成果について項目別にまとめて報告した。本プロジェクトはシステム工学部から5名、教育学部から2名、加えて外部研究機関から3名のメンバーが参画して行われた。その特徴としては

- ・ 物理と化学の連携による先端研究
- ・ 学部横断的
- ・ 外部学術団体との連携

などである。

メンバー間の協力および専門性を活かした個別的な研究については、本報告書の第2章に詳しく掲げたが、得られた研究成果を核にさらに大きく発展していくことが期待される。たとえば

- ・ カーボンナノチューブの構造改変については、照射するX線のエネルギーを用いてSWNTの構造変化を制御する可能性。
- ・ 液中レーザーアブレーションによるナノ粒子作製は、新たなナノ粒子作製プロセス法の開発。
- ・ ラダー型ポリマーへのドーピングにより、類縁体をはるかにしのぐ電気伝導特性の獲得。
- ・ 欠陥反応制御に基づき、半導体発光素子や太陽電池などのグリーン素子の効率向上と信頼性の確保。

一方、研究連携としては、本プロジェクトをきっかけに学部横断的な共同研究をさらに多様な形で推進していきたい。また国際シンポジウムISPEN-2009の開催を契機として、和歌山大学を励起ナノプロセスの研究交流、情報交換の重要な拠点とすることを国内外からの参加者から要請されている。今後も引き続き、和歌山近辺での研究会の開催の実施、励起ナノプロセス研究会のHomePageを活用した国際的な研究交流、情報交換を行っていきたい。この件に関しては今後とも応用物理学会の協力を得る予定である。

最後になるが、研究会や国際シンポジウムの開催にあたっては各研究室所属の大学院生に多数参加し、ポスター発表ならびに運営に協力してもらった。通常の学会発表とは異なり、研究第一人者と直接に十分ディスカッションして頂くことができたことは貴重な体験であったといえよう。さらに国際シンポジウムの開催の裏方（予稿の印刷から会場準備、コーヒープレイクの用意、mini excursionの準備など）の仕事も得難い貴重な体験であったと思われる。

以上を総合して、和歌山大学に励起ナノプロセス研究の拠点を形成するという本オンリー・ワンプロジェクトの目的は十分に達成されたといえよう。